



Universidad Nacional  
**SAN LUIS GONZAGA**



## **Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional**

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

**CONSTANCIA**

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

**INFLUENCIA DE LA CONCENTRACION DE LOS REACTIVOS QUE CONFORMAN EL FLUX EN EL PROCESO DE FUSION DE MINERALES OXIDADOS Y EN LA DETERMINACION DE LA LEY DE ORO POR GRAVIMETRIA.**

Presentado por:

**STEFANY ALEXANDRA CHACALTANA FIGUEROA**

Autor del Proyecto de Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 06% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual se otorga el calificativo de:

**APROBADO**, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 26 de octubre del 2023

**Dra. ANA MARIA JIMENEZ PASACHE**  
**DIRECTORA (i) DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**



**TÍTULO: INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE  
LOS REACTIVOS QUE CONFORMAN EL FLUX EN EL  
PROCESO DE FUSIÓN DE MINERALES OXIDADOS Y  
EN LA DETERMINACIÓN DE LA LEY DE ORO POR  
GRAVIMETRÍA**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CIENCIAS NATURALES,  
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORA: STEFANY ALEXANDRA CHACALTANA FIGUEROA**

**ASESOR: MAG. RAUL GERARDO ÁVILA MEZA**

**ICA – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la fuerza necesaria para culminar esta meta.

A mis padres, Estefanía y Jorge, quienes me impulsan a ser mejor cada día y que con su amor incondicional me ayudan a levantarme en cada caída, son los pilares de mi educación y valores.

A mi hermano, por ser mi ejemplo de superación y mi fuente de inspiración.

A mis abuelos, que con sus sabios consejos me motivan a perseguir mis sueños.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a mis padres, quienes siempre me han brindado su apoyo para poder cumplir todos mis objetivos tanto personales como académicos, quienes me motivan a nunca rendirme ante las adversidades y también me han brindado soporte económico a lo largo de toda mi preparación académica.

Agradezco a mi asesor por su paciencia y dedicación, por su guía, críticas constructivas y consejos que hacen posible cumplir esta meta, las llevare siempre en mi memoria en mi futuro profesional.

Por último agradezco a mi casa de estudios que me ha exigido tanto y hace posible que hoy este aquí, permitiéndome obtener mi tan ansiado título.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
ÍNDICE DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
ABSTRACT	08
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	14
2.2.1. Análisis del oro por el método de fusión.	14
2.2.2. Acción de los reactivos.	19
2.3. Marco conceptual.	21
2.4. Estrategia metodológica.	22
2.5. Procedimiento experimental	22
III. RESULTADOS.	34
IV. DISCUSIÓN.	56
V. CONCLUSIONES.	58
VI. RECOMENDACIONES.	59
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	60
VIII. ANEXOS.	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 3.1. Resultados del análisis del mineral cuarcífero con contenido de oro	34
Tabla 3.2. Resultados del análisis del mineral ferruginoso con contenido de oro	35
Tabla 3.3. Resultados del análisis del mineral cupríferos con contenido de oro	36
Tabla 3.4. Resultados del análisis del mineral oxidado de cobre y hierro con oro	37
Tabla 3.5. Resultados del empleo del flux 1: minerales cuarcíferos.	38
Tabla 3.6. Resultados del empleo del flux 2: minerales cuarcíferos.	39
Tabla 3.7. Resultados del empleo del flux 3: minerales cuarcíferos.	40
Tabla 3.8. Resultados del empleo del flux 1: minerales ferrosos	41
Tabla 3.9. Resultados del empleo del flux 2: minerales ferrosos.	42
Tabla 3.10. Resultados del empleo del flux 3: minerales ferrosos.	43
Tabla 3.11. Resultados del empleo del flux 4: minerales ferrosos	44
Tabla 3.12. Resultados del empleo del flux 1: minerales cupríferos.	45
Tabla 3.13. Resultados del empleo del flux 2: minerales cupríferos.	46
Tabla 3.14. Resultados del empleo del flux 3: minerales cupríferos.	47
Tabla 3.15. Resultados del empleo del flux 4: minerales cupríferos.	48
Tabla 3.16. Resultados del empleo del flux 1: minerales oxidados de Fe y Cu.	49
Tabla 3.17. Resultados del empleo del flux 2: minerales oxidados de Fe y Cu	50
Tabla 3.18. Resultados del empleo del flux 3: minerales oxidados de Fe y Cu	51
Tabla 3.19. Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro en muestras cuarcíferas.	52
Tabla 3.20. Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro en muestras ferrosas.	53
Tabla 3.21. Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro en muestras cupríferas.	54
Tabla 3.22. Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro en muestras oxidadas de hierro y cobre.	55



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fusión de la muestra de mineral aurífero.	16
Figura 2. Crisol de arcilla para análisis de oro.	30
Figura 3. Copelación.	31
Figura 4. Mufla eléctrica.	32
Figura 5. Cubicación del régulo.	32
Figura 6. Muestra fundida es vaciada en la lingotera.	61
Figura 7. Corte transversal de un crisol donde se muestra la escoria con la flecha roja y la fase metálica con la flecha negra.	62

## RESUMEN

La presente investigación titulada “**Influencia de la concentración de los reactivos que conforman el flux en el proceso de fusión de minerales oxidados y en la determinación de la ley de oro por gravimetría**”, es una investigación de tipo aplicada, por su nivel explicativo y por su diseño experimental, cuyo objetivo es determinar cómo influye la concentración de los reactivos de la mezcla fundente en la exactitud del análisis del oro cuando se trabaja con el método gravimétrico, para demostrar la hipótesis se realizaron ensayos con minerales cuarcíferos, ferruginosos, cupríferos y mixtos variando los reactivos y la concentración de estos para lograr un mínimo error y una exactitud acorde con la ley del mineral. Los reportes de laboratorio indican que cada muestra mineral posee sus características y composición específicas y que por tanto debe previamente establecerse cuales son estas para seleccionar los reactivos a emplearse y la cantidad necesaria para obtener resultados exactos y a partir de ello generar criterios para el tratamiento de otras muestras similares.

PALABRAS CLAVES: Flux, fusión, minerales oxidados.

## **ABSTRACT**

The present investigation entitled "Influence of the concentration of the reagents that make up the flux in the fusion process of oxidized minerals and in the determination of the gold grade by gravimetry", is an applied type of investigation, due to its explanatory level and for its experimental design, whose objective is to determine how the concentration of the reagents of the flux mixture influences the accuracy of the gold analysis when working with the gravimetric method, to demonstrate the hypothesis, tests were carried out with quartz, ferruginous, copper and mixed minerals varying the reagents and their concentration to achieve a minimum error and an accuracy in accordance with the mineral grade. The laboratory reports indicate that each mineral sample has its specific characteristics and composition and therefore it must be previously established what these are in order to select the reagents to be used and the quantity necessary to obtain exact results and from this generate criteria for the treatment of other similar samples.

**KEY WORDS:** Flux, fusion, oxidized minerals.

## I. INTRODUCCIÓN

### **Planteamiento del problema.**

El análisis del oro por la vía seca o como se le denomina comúnmente mediante el ensayo a la llama, siempre ha presentado ciertas dudas en los resultados, sobre todo cuando durante el análisis no se tiene el cuidado suficiente en ciertas operaciones a desarrollar. Uno de estos problemas es la elaboración del flux (mezcla fundente), su formulación muchas veces se hace de acuerdo con información teórica o de acuerdo con cierta experiencia en el análisis, completando unos ochenta gramos en promedio conteniendo varios reactivos químicos sólidos, los mismos que muchas veces se agregan al azahar en cantidades pequeñas predominando el óxido de plomo. El óxido de plomo comúnmente se la llama litargirio (PbO), el cual durante el proceso de fusión se comporta como flujo básico y como un oxidante y desulfurante. Su punto de fusión es de 888°C. Por su actividad química se considera de características básicas, su función en el proceso de fusión es la de colector al oro y la plata y como neutralizador del azufre, se agrega a las muestras ácidas para neutralizar la fusión. Cuando en la formulación de la mezcla fundente se agrega el litargirio en cantidades excesivas produce el paso de la plata a la escoria, perdiéndose una considerable cantidad de este metal en el conglomerado de metales que se sitúan en el fondo del crisol al separarse de la ganga.

El fundamento de la copelación se basa en la propiedad que tienen el oro y la plata de no oxidarse a altas temperaturas. En esta etapa se separa el oro y la plata del plomo, el mismo que se oxida y absorbe en la copela mientras la temperatura permanece en 800°C por aproximadamente 40 minutos. La oxidación y absorción del plomo se prolonga hasta que el oro y la plata quedan totalmente puros formando un botón brillante que queda retenido en la superficie cóncava de la copela. La copelación se considera la etapa más importante del análisis del oro ya que durante ella el plomo se oxida junto con todas las impurezas metálicas existentes y se absorbe en la copela en un 98,5% y la diferencia (el 1,5%) se volatiliza, ese porcentaje constituye las pérdidas y se produce gracias al arrastre de las partículas de sustancias volátiles y la absorción de una parte de ellas por la masa de la copela.

Lo anteriormente dicho nos indica que la cantidad de óxido de plomo que se agrega al flux debe ser la necesaria al igual que los otros reactivos que constituyen la mezcla fundente, en este sentido la presente investigación busca que establezca la dosificación de cada uno de los reactivos para cada caso específico de mineral que se va a analizar.

### **Problema general.**

¿La concentración de los reactivos que conforman el flux influyen en el proceso de fusión de minerales oxidados y en la determinación de la ley de oro por gravimetría?

### **Problemas específicos**

- ¿Qué componentes posee la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría?
- ¿Cuál es la concentración adecuada de reactivos en la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría?
- ¿Qué criterios se toman en cuenta para incluir reactivos en la formulación de la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría?

### **Objetivo General.**

Determinar la influencia de la concentración de los reactivos que conforman el flux en el proceso de fusión de minerales oxidados y en la determinación de la ley de oro por gravimetría.

### **Objetivos específicos**

- Determinar los componentes que posee la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría.
- Determinar las concentraciones adecuadas de reactivos en la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría.
- Establecer los criterios que se toman en cuenta para incluir reactivos en la formulación de la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría.

### **Hipótesis general.**

La concentración de los reactivos que conforman el flux influye directa y significativamente en el proceso de fusión de minerales oxidados y en la determinación de la ley de oro por gravimetría.

### **Problemas específicos**

- Los componentes que posee la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría, son reactivos oxidantes y reductores.
- La concentración adecuada de reactivos en la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría, es mínima.
- Los criterios que se toman en cuenta para incluir reactivos en la formulación de la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría, son las características químicas del mineral.

### **Variables:**

#### **Variable independiente:**

Composición de los reactivos que conforman el flux.

#### **Variable dependiente.**

Proceso de fusión y determinación de la ley de oro por gravimetría.

## **Justificación e importancia de la investigación.**

### **Justificación teórica:**

Teóricamente la presente investigación se justifica porque aborda el estudio de la relación entre los componentes del flux, la cantidad de estos y las características del mineral a analizar. Así mismo, se estudiará el proceso de fundición y las reacciones que se producen en dicho proceso.

### **Justificación metodológica:**

Esta investigación se justifica con un estudio de forma detallada, la cual es cualitativa de cada componente que está conformada la muestra para mejorar los resultados de los análisis hechos a muestras minerales de oro.

### **Justificación social:**

Se justifica porque busca que mejorar las técnicas de análisis del oro, mejorando de esta manera la reputación de los químicos analistas y del laboratorio que lo realiza.

### **Justificación práctica:**

Se justifica porque permitirá un trabajo metódico, planificado de las muestras con el fin de lograr mejores resultados.

## II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

### 2.1. Antecedentes.

#### A nivel internacional:

G. Toapanta, [1] presentó su tesis sobre Análisis de oro y plata mediante ensayo al fuego utilizando cobre como colector, cuyo objetivo fue realizar el análisis de oro, utilizando el método gravimétrico, pero empleando cobre como colector a diferencia del tradicional que emplea plomo como colector. La investigación es aplicada, de nivel explicativa y de diseño experimental, en el desarrollo de las pruebas primero se hace el respectivo análisis de las muestras para caracterizar el mineral y de acuerdo con ello se prepara la mezcla fundente teniendo en cuenta que el litargirio es el componente principal y la cantidad que se agregue al flux depende mucho de la cantidad de metales existentes en la muestra, a fin de lograr resultados óptimos que reflejen el 99,9% de la concentración de oro en el mineral.

A. Salazar, [2] presentó su tesis en la que hace una evaluación del método de determinación de oro por ensayo al fuego, cuyo objetivo fue estudiar los fundamentos y la mecánica del análisis al fuego, para lo cual el autor, previamente hace los análisis respectivos para determinar la composición química del mineral y de acuerdo a ello elaborar la mezcla fundente que permitirá la mayor recuperación del oro en el régulo metálico. El autor concluye que el conocimiento previo del tipo de mineral (análisis químico y/o mineralogía) permite comprender los resultados de los ensayos, preparando las muestras de manera adecuada y obtener buenos resultados.

C. Patiño [3] en su tesis sobre optimización del análisis químico de muestras minerales especialmente de los metales preciosos, es decir, oro y plata, después de una serie de ensayos por vía seca ajustando las cantidades y los componentes de la mezcla fundente, en los cuales obtiene resultados reproducibles y que se acercan en las milésimas a los resultados reportados por el análisis instrumental espectrofotométrico llegó a la conclusión de que, el análisis por vía seca denominado también ensayo al fuego a pesar de ser el más antiguo es un método exacto con un alto margen de exactitud. Por lo cual tiene una mayor exactitud en las medidas y en la concentración, en donde a mayor cantidad de muestra que se analice el error será menor. Dicho método se realiza por vía seca, el cual se trata de emplear una elevada solubilidad de metales nobles, los cuales estarán en una fase metálica que será separada de lo demás por plomo líquido.

G. Teopanta [4], su tesis sobre análisis gravimétrico del oro y la plata empleando cobre como colector en el ensayo al fuego señala en su conclusión que, el ensayo al fuego es el método más utilizado para la determinación de oro y plata en menas y concentrados, por su simplicidad y confiabilidad de resultados. Según el método empleado el mineral aurífero se pone en contacto con una mezcla fundente y se lleva a temperatura de fusión. La presencia del plomo como óxido de plomo en la mezcla fundente permite coleccionar los metales y separarlos de la ganga. La investigación es aplicada y de diseño experimental en la que para demostrar su hipótesis se ha realizado ensayos diversos para demostrar la viabilidad del método.

#### **A nivel nacional:**

W. Antezana, [5], presentó su tesis que tuvo como objetivo demostrar que el cobre es un colector efectivo para el análisis del oro, incluso mejor que el plomo usado en forma habitual cuando se realiza el ensayo en mufla eléctrica. La investigación es de tipo aplicada, de nivel explicativo y de diseño experimental. La secuencia de los ensayos se llevó a cabo analizando primero el mineral, para caracterizarlo y luego en función a ello se elaboraron las mezclas fundentes, obteniéndose excelentes resultados de análisis.

J. Condori y A. Pacco, [6], presentaron su tesis sobre el análisis del oro por vía seca optimizando el método con el fin de realizar una mejora en la confiabilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio, la cual se quiere lograr un sistema de aseguramiento de calidad, para ello se pretende que la secuencia de análisis de oro por este método siga una secuencia establecida, que involucre primero el análisis rápido del mineral para saber si la muestra es ácida o básica, luego la preparación del flux y finalmente el análisis propiamente dicho bajo las condiciones establecidas. Los autores realizaron ensayos bajo estas condiciones, lo que les permitió obtener resultados excelentes que reflejan el 99,9% del metal reportado por métodos instrumentales.

J. Gamboa [7] en su investigación sobre la determinación cuantitativa de oro y plata por el ensayo al fuego, considera que el ensayo por fusión de la muestra es un tipo de análisis que requiere de una amplia investigación personalizada para cada una de las muestras a fin de establecer el reactivo específico y al fuego es un arte en el tema de los análisis de metales preciosos el cual involucra una serie de factores que influirán en el resultado final (leyes) para una acertada decisión dentro de una compañía, especialmente en la Compañía Minera Poderosa S.A, operativa en el Perú.

#### **A nivel local.**

En las universidades de la ciudad de Ica, no se ha encontrado repositorios sobre el tema propuesto en esta investigación.



## 2.2. Marco teórico.

### 2.2.1. Análisis del oro por el método de fusión.

El análisis del oro por el método de fusión a elevadas temperaturas que van desde 1 000°C hasta 1 100°C, por lo que también es llamado análisis al fuego o fire assay, constituye un método gravimétrico clásico, que se desarrolla por vía seca, empleando reactivos sólidos llamados fundentes cuya función es separar los metales de la ganga. El método establecido de acuerdo con normas recibe el nombre de análisis de oro en mufla eléctrica, y es muy utilizado para cuantificar los metales preciosos, especialmente oro y plata en minerales. Se fundamenta en la propiedad que tienen los metales nobles de solubilizarse con facilidad en el plomo fundido a elevadas temperaturas, formando una fase metálica de mayor densidad que se deposita en el fondo del crisol de fundición, permitiendo así la separación de otra fase con menor densidad constituida por la ganga. La solubilidad de los metales preciosos en el plomo fundido generando una fase densa constituida por metales hace posible la separación de la aleación plomo-oro-plata de los componentes menos densos de la fundición que constituye la ganga, la cual además es insoluble en la fase metálica, por lo que se separa con gran facilidad.

En el proceso de fusión la mezcla fundente (flux) debe permitir la descomposición total de la muestra, la fusión total del plomo y la formación de una escoria muy fluida. En este proceso los óxidos metálicos constituyen los óxidos básicos y los óxidos no metálicos como ácidos y por tanto las reacciones son del tipo ácido - base. Por otro lado, la escoria que se forma contiene óxidos no metálicos, sílice y bórax. Además, hay que tener especial cuidado en el peso del plomo recuperado el mismo que no debe ser menor de 25 gramos ni mayor de 35 gramos.

El método de análisis del oro por fusión consta de varias etapas fundamentales en las cuales se producen una serie de reacciones químicas, tendientes a formar óxidos metálicos y óxidos no metálicos, a continuación de describen estas etapas de manera concisa.

#### **Fusión o escorificación.**

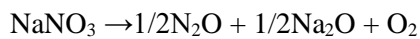
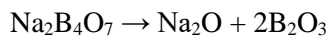
La fusión de la muestra de mineral aurífero mezclada con la mezcla fundente se realiza a temperaturas entre los 1 000°C y los 1 100°C en la mufla eléctrica, durante una hora tiempo en el cual la muestra sólida y los fundentes colocados en el crisol, pasan a un estado líquido, lo que indica la fusión de toda la masa sólida contenida en el crisol.

Este proceso se realiza en tres etapas, las cuales a continuación pasaremos a detallar:

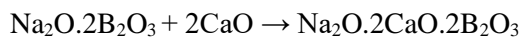
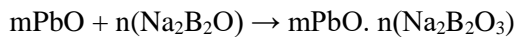
#### Etapa de calentamiento.

Las sales inorgánicas agregadas en la mezcla fundente a partir de los 300°C comienzan a descomponerse formando los respectivos óxidos básicos y óxidos ácidos, una de estas

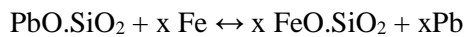
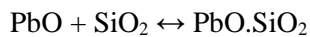
sales que en primer lugar se funde es el bórax que se vierte en la parte superior como tapa después de haber colocado en el crisol la muestra mezclada con los fundentes. La razón de esta cubierta con bórax es para evitar que se forme espuma y se derrame la muestra dentro de la mufla al elevarse la temperatura. El bórax es un fundente ácido que al combinarse con componentes básicos forma boratos que se funden a menor temperatura, a esta temperatura el óxido de plomo o litargirio (PbO) reacciona con los metales conformando la fase metálica y simultáneamente en el crisol se forma la escoria o ganga. Al fundirse el bórax y el nitrato de sodio a una temperatura de 308°C, estas sustancias se descomponen inmediatamente dando como resultado óxidos básicos y ácidos tal como se indica en las siguientes reacciones químicas:



Es así como se inicia la formación de los boratos y silicatos que conforman la ganga:



Las escorias mientras tanto, toman la forma de silicatos y boratos, así como:



Los óxidos básicos o metálicos conforman la fase metálica, mientras que los óxidos ácidos o no metálicos conforman la ganga.

#### Etapa de fusión propiamente dicha

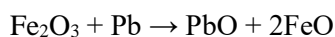
Esta etapa se desarrolla a una temperatura de 1 000°C, por lo que las reacciones químicas se intensifican produciéndose reacciones de oxidación-reducción entre todos los metales y no metales presentes en la muestra fundida, el plomo capta los metales nobles, reacciona el carbonato y bórax con los constituyentes ácidos y básicos generando una mayor cantidad de escoria desprendiéndose un gran volumen de gases, entre los cuales predominan el dióxido de carbono, el dióxido de azufre y el monóxido de nitrógeno. El oxígeno presente en el medio interviene en la oxidación de los metales.

Los minerales sulfurosos como la pirita por ejemplo, durante esta etapa en las diversas reacciones que se suceden actúan como reductores fuertes como se puede observar en las reacciones que a continuación se exponen:

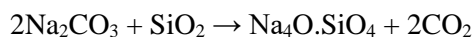


Fig.1. Fusión de la muestra de mineral aurífero [4]

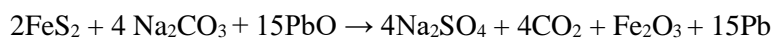
Simultáneamente los minerales oxidados (aquellos que contienen especies mineralógicas en cuya estructura está presente el oxígeno) entran en reacción con el plomo, como se muestra en la siguiente reacción:



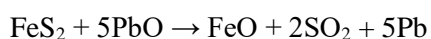
En tanto que el carbonato de sodio a la temperatura de 950°C se descompone liberando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y cuando reacciona con el dióxido de sílice forma silicatos y aluminatos que funden a bajas temperaturas:



El carbonato de sodio y el litargirio reaccionan convirtiendo los sulfuros en sulfatos:

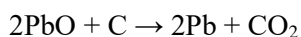


Cuando el carbonato no está presente entonces no se forma sulfatos, como en el caso siguiente:

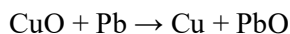
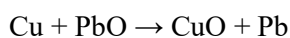


La harina que contiene la mezcla fundente al quemarse se convierte en carbono (carbón) el cual es un reductor que reacciona con los óxidos metálicos formando dióxido de

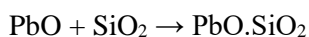
carbono y dejando libre el metal, en la reacción que a continuación se detalla se expresa esta reacción:



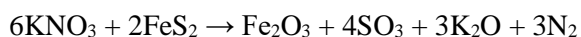
Las impurezas metálicas que se reducen se juntan con el plomo fundido constituyendo precisamente eso, las impurezas, tal como se expresa en las siguientes ecuaciones:



El óxido de plomo (litargirio) es reductor y capta los metales, también se producen silicatos que se funden con facilidad:



Las reacciones de oxidación deben llevar a los compuestos a la escoria, así tenemos al nitrato potásico:



#### Etapa final.

Al término de la fundición la temperatura es de 1 100°C en la cual el plomo fundido capta todo el oro y la plata incluyendo las trazas de estos metales. Finalizando la hora se da por concluida la etapa de fusión, se abre la mufla y con una pinza extensible larga con mucho cuidado se coge el crisol y se saca de la mufla, con movimientos circulares y con especial cuidado se agita el contenido del crisol para luego vaciarlo en los huecos de la lingotera, la cual es un dispositivo hecho de hierro fundido donde al caer el material fundido, la parte metálica de mayor densidad se localiza en la parte inferior y la ganga que es más ligera se localiza en la parte superior. Se deja enfriar durante unos minutos al aire y conforme desciende la temperatura del material fundido, la ganga comienza a romperse resquebrajándose, luego con un martillo se retira toda la ganga para liberar el metal, el mismo que con golpes de martillo se le da la forma de un cubo. Este cubo se coge con la pinza y se coloca en el escorificador.

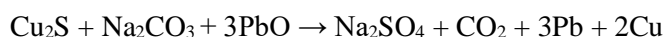
#### **Reactivos que conforman la mezcla fundente (flux)**

<b>NOMBRE</b>	<b>FÓRMULA</b>	<b>PROPIEDADES</b>
Sílice	$\text{SiO}_2$	Reactivo ácido
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Reactivo ácido
Bórax-Glass	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Reactivo ácido
Carbonato de sodio	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Reactivo básico, desulfurante
Carbonato de potasio	$\text{K}_2\text{CO}_3$	Reactivo básico, desulfurante
Litargirio	$\text{PbO}$	Reactivo básico, desulfurante
Nitrato de potasio	$\text{KNO}_3$	Reactivo oxidante, desulfurante

Harina	$C_5H_{10}O_3$	Reactivo reductor
Carbón	C	Reactivo reductor
Plomo	Pb	Reactivo reductor
Hierro	Fe	Reactivo reductor, desulfurante
Sal	NaCl	Cubierta protectora

### **Proceso de escorificación.**

Con el fin de eliminar los metales que interfieren en el análisis del oro, tal como el cobre, bismuto, zinc, se realiza la escorificación. La finalidad de este proceso es transferir estos metales a la escoria dejando solo el plomo, oro y plata en el botón. Para realizar este proceso se requiere de un platillo de arcilla donde se coloca el régulo con plomo impuro, bórax y plomo granulado; y en la mufla se lleva a 900°C. La escorificación se lleva a cabo en presencia de oxígeno, el cual cataliza la oxidación de los metales durante la fusión del plomo. Los metales oxidados pasan a la escoria que posee un color verde debido a la presencia de boratos y silicatos de metales alcalinos. Concluida la escorificación, el material fundido se vierte en la lingotera y se separa, se elimina la escoria o ganga y la parte metálica con el martillo se le da la forma de un cubo y se lleva a copelación. La reacción química que se produce en este proceso se expresa en la ecuación siguiente:

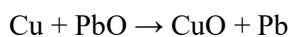


### **Proceso de copelación.**

El botón de plomo, oro y plata que se obtiene en la escorificación se coloca en una copela y se lleva a la mufla a 900°C, a esta temperatura y en presencia de oxígeno del aire los metales se oxidan y se absorben en la copela. Durante la copelación después de unos 20 minutos se abre la puerta de la mufla para que entre un mayor flujo de aire y acelerar de esta manera las reacciones de oxidación. La copelación demora entre 30 y 45 minutos, se considera concluida cuando se ve un destello propio del botón de oro y plata. La temperatura alcanzada en este momento es de 875°C, temperatura a la cual funde el litargirio.

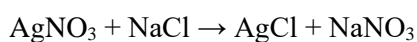
El botón oro-plata se le denomina doré, que es la aleación entre estos dos metales. El plomo y los metales que conformaban las impurezas, en parte son absorbidos por la copela y en parte se volatilizan, quedando sobre ella, solo el oro y la plata.

Las impurezas metálicas que quedan en el régulo (Cu, Fe y Cd) se oxidan en el proceso y son absorbidos como tales. Estos metales perjudican el análisis, ocasionando pérdidas en la concentración del oro y la plata. Debido a ello se eliminan durante el proceso de escorificación. Por otro lado, el bismuto, arsénico, antimonio y zinc son eliminados durante la copelación, en parte absorbidos y en parte volatilizados como óxidos.

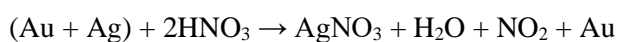


### **Proceso de partición.**

La partición es un proceso que se lleva a cabo por la vía húmeda empleando ácido nítrico para atacar el doré y convertir la plata en nitrato de plata dejando libre al oro que no es atacado por el ácido. El botón de oro-plata se saca de la copela con una pinza, se limpia con un cepillo duro y se coloca en un crisol de 30 mL de capacidad al cual se le agrega ácido nítrico en solución de 1:1, luego se agrega 5 mL de ácido concentrado para disolver la plata totalmente, en ocasiones hay que repetir el ensayo hasta eliminar totalmente la plata, el ensayo se hace en caliente sobre la plancha. En cada uno de los ataques que se realizan con el ácido nítrico se elimina la solución con mucho cuidado a fin de no perder el oro, se enjuaga con agua destilada y se continúa atacando si es necesario. La eliminación de la plata se va controlando con una solución de cloruro de sodio, si la solución resultante se vuelve blanca quiere decir que aún hay plata que está disolviéndose. La ecuación en este caso es la siguiente:



La reacción de copelación puede expresarse de la siguiente manera:



Terminada la partición el oro y se le agrega unas gotas de hidróxido de amonio para eliminar las trazas de cloruro de plata. Posteriormente a esto se lava dos veces más con agua desionizada y luego se seca cuidadosamente en la mufla o en una plancha a 200°C y seguidamente el oro se lleva a 500°C para templarlo durante unos 20 minutos y luego se enfría y pesa en una balanza microquímica, 0,00001 (con 5 decimales)

El cálculo del oro se hace con la fórmula siguiente:

$$\text{Au (g/T)} = \text{Peso del Au (Mg)} \times 1000 / \text{Peso de la muestra (g)}$$

### **2.2.2. Acción de los Reactivos.**

#### ***Mezcla de fundentes***

A fin de determinar el fundente ideal para cualquier tipo de muestra se requieren conocimientos sobre los diferentes tipos de minerales y conocimientos elementales de los procesos pirometalúrgicos. Los principales reactivos utilizados en el proceso de ensayo son los siguientes (McGuire, 1998):

*Litargirio.* Es un material fácilmente fundible, considerado como fundente básico, el cual también actúa como agente desulfurante y oxidante. Funde a la temperatura de 883°C y cuando es reducido actúa como proveedor del plomo metálico, necesario para coleccionar los metales nobles. El Litargirio posee una gran afinidad por la sílice y cuando el mineral no

la contiene en una cantidad apropiada, el PbO atacará las paredes del crisol rompiéndolo o eventualmente agujerándolo.

*Carbonato de Sodio.* Es un poderoso fundente del tipo básico, el cual funde a la temperatura de 852°C, es un invariable constituyente de una mezcla de fundente o flujo para minerales del tipo silicosos. En la presencia de la sílica, el carbonato de sodio forma silicato de sodio, con la respectiva evolución de dióxido de carbono. Estos silicatos reaccionan al mismo tiempo con otros tipos de minerales oxidados básicos formando silicatos complejos. En el ensayo a fuego, el carbonato de sodio en conjunto con el óxido de plomo y el bórax contribuyen a la formación de un medio en el cual se forman complejos metálicos boratados y silicatos, los cuales exponen a los metales nobles a la acción extractante del plomo. Así mismo, es considerado como un agente desulfurante y oxidante.

*Bórax.* Es un material extremadamente viscoso cuando se funde, pero al fuego rojo se torna fluido y de un carácter fuertemente ácido, disolviendo y fundiendo prácticamente todos los óxidos metálicos ya sean básicos o ácidos. En adición, el hecho de que funde a la temperatura de 742 ° C, facilita la formación de las grasas para coleccionar impurezas de la muestra, aparte de ayudar a bajar la temperatura de fusión de las mismas.

*Sílica.* Es un material que funde a la temperatura de 1750 ° C y es uno de los materiales fundentes de carácter ácido más fuertes, utilizados en el proceso de ensayo a fuego; se combina con los minerales oxidados para formar grasas y compuestos silicosos, es el fundamento o base de todas las grasas formadas. Así mismo, es utilizado con la finalidad de proveer un material ácido que reaccione con los materiales básicos que constituyen el mineral. Protege el crisol de la acción corrosiva del litargirio. Si es usado en exceso puede ocasionar pérdidas de metales nobles y en algunas ocasiones formamos compuestos como los del tipo mate.

*Harina.* Este material (harina de trigo) se usa como agente reductor, sin embargo, puede ser sustituido por otros materiales. El material que contiene actúa reduciendo una parte del litargirio a plomo metálico quien coleccionará los metales preciosos.

*Nitrato de Potasio.* Comúnmente conocido como sal nitro, es utilizado principalmente para efectuar la oxidación de los sulfuros presentes en los diferentes tipos de minerales. El empleo en exceso de este material afecta al proceso de fundición de la muestra ya que provoca que el mineral hierva en el crisol, haya derrames y por lo tanto tengamos pérdidas de material fundido.

### **2.3. Marco conceptual.**

#### **Análisis químico cuantitativo**

Los análisis químicos en términos de mineralogía se emplean para conocer la cantidad exacta de un elemento.

#### **Análisis químico mineralógico**

En el caso del análisis químico este se emplea para conocer qué elementos conforman la sustancia mineral, dicho resultado resultara de la formula química para sustancias que conforman el mineral. Por otro lado, es importante indicar que los caracteres analíticos no forman parte de los compuestos de la sustancia, sino que forman parte de cada uno de ellos, como por ejemplo se tiene al anión cloruro el cual tienen igual características independientes de las otras sustancias que encontremos.

#### **Fundentes.**

Los fundentes son compuestos químicos que se emplean con el objetivo de reducir el punto de fusión y en el caso de los metales nobles tiene como objetivo oxidarlos. Estos compuestos tienen como función recoger la ganga y también las impurezas que se encuentren, son 5 los fundentes que se utilizan en la metalurgia.

#### **Litargirio**

Es aquel óxido de plomo el cual tiene 883°C de fusión y 91,8% de plomo. Este óxido actúa como un agente oxidante y también es un flujo básico fundible.

#### **Partición.**

Proceso en el que se separa la plata que contiene la aleación doré por medio del ácido nítrico diluido pasando la plata a nitrato de plata ya que los ácidos nítrico y sulfúrico disuelven la plata, pero no al oro.

#### **Encuartación.**

Es aquel proceso el cual consiste en añadir la plata metálica que es en forma de sal de plata a la muestra con la que se está trabajando. Es muy importante la cantidad que se va añadir, ya que es la plata el elemento que debe predominar en la aleación, sino se estaría rompiendo el dore en fino de oro no se va a producir.



## **2.4. Estrategias metodológicas**

### **Tipo, nivel y diseño de la investigación.**

Tipo de investigación: Aplicada.

Nivel: Explicativa.

Diseño: Experimental.

### **Población y muestra.**

#### **Población.**

Estuvo constituida por muestras de mineral de oro de las canchas de minerales de las plantas hidrometalúrgicas de Nazca.

#### **Muestra:**

La muestra estuvo conformada por los minerales de oro de la cancha de minerales de la planta Mercurio de Nazca.

#### **Técnicas de recolección de información.**

Las técnicas empleadas fueron las del análisis cuantitativo.

#### **Instrumentos de recolección de información.**

Los instrumentos fueron los análisis químicos.

#### **Técnicas de análisis e interpretación de datos.**

Los datos reportados en los análisis realizados fueron seleccionados, tabulados, interpretados y discutidos de acuerdo con los objetivos planteados en la tesis.

## **2.5. Procedimiento experimental.**

### **Generalidades.**

La parte experimental de esta tesis se llevará a cabo con mineral de oro tanto oxidados como refractarios, con el fin de ensayar ciertos recursos operacionales para el análisis que permitan obtener mejores resultados durante el análisis y poder a su vez, emplear una menor cantidad de reactivos para obtener un resultado fiable y con mayor exactitud.

### **Recolección de muestras.**

Las muestras de mineral aurífero se recolectaron en la cancha de minerales de la planta Victoria de Nazca, situada en Pampa Caballa del distrito de Vista Alegre de Nazca, planta que se dedica a la flotación (Sulfuros de cobre) y cianuración de minerales (Mineral oxidado de oro). La recolección se hizo mediante la selección de mineral de acuerdo a la ocurrencia del oro en los yacimientos, en donde está asociado generalmente al cuarzo, a la magnetita, pirita y calcopirita. Se tomó un total de 20 kg de muestra en sacos de yute de 5 kg en los cuales se echó mineral de diferente granulometría, desde trozos relativamente grandes (10 pulgadas de diámetro) hasta material pulverizado.

### **Tratamiento físico del mineral.**

El mineral traído al laboratorio de la planta se sometió a chancado en una chancadora de quijadas donde se redujo el tamaño del mineral hasta 1/2", posteriormente se somete este material a molienda en un molino de bolas de laboratorio para pulverizarlo hasta malla Tyler #200, granulometría adecuada para los análisis.

### **Obtención de la muestra representativa**

Una vez pulverizada toda la muestra a malla -200 se reúne todo el mineral en una superficie limpia y se mezcla con una pala para luego hacer un cono, el cual después se achata hasta formar una torta que se corta exactamente en cuatro partes, dos de las cuales se separa y luego se vuelve a reunir el mineral en forma de cono, se vuelve a formar la torta, se corta, se eliminan dos porciones y se prosigue como en el caso anterior hasta conseguir una muestra de aproximadamente 1000 g la cual se considera la muestra representativa.

### **Pesado de la muestra**

De la muestra representativa se pesa muestras de 30 g que corresponden a un assay ton, y se vierten en el crisol de arcilla refractaria.

### **Tostación de la muestra.**

Con el fin de eliminar sulfuros que interfieren o encapsulan el oro, la muestra pesada se lleva a tostación en la mufla eléctrica a 700°C por una hora, después de lo cual se enfría el mineral oxidado para luego mezclar con la mezcla fundente y proceder a la fusión y realizar el análisis del oro según lo descrito en el procedimiento habitual.

### **Preparación del flux (mezcla fundente)**

Para preparar la mezcla fundente o flux hay que tener en cuenta el tipo de mineral a tratar, en otras palabras cuál es su composición química o qué componentes minerales se encuentran en mayor porcentaje en la muestra a analizar. En el laboratorio se clasifican los minerales en tres grupos bien definidos:

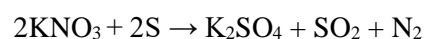
1. Minerales ácidos: Son aquellos que contienen sulfuros, arseniuros, telurios y materia carbonosa, los cuales, gracias a su poder reductor, reducen de manera parcial el óxido de plomo (litargirio) durante el proceso de fusión. Para este tipo de mineral se emplea como fundentes reactivos oxidantes y desulfurantes como los carbonatos de sodio y de potasio, el óxido de plomo y el nitrato de potasio. En este caso el litargirio reacciona como un reactivo básico por tanto como agente oxidante, a la vez actúa como desulfurante. Durante la fusión el litargirio se reduce a plomo metálico fundido que se requiere para captar los metales preciosos: oro y plata. Este plomo metálico posee un punto de fusión de solo

327°C y una alta densidad que alcanza los 11,3 g/mL lo que le permite separarse de la ganga fácilmente y junto con los metales colectados, decantarse en el fondo del crisol de fusión. La escoria que posee una densidad mucho menor (2,8 g/mL) queda sobrenadando en la parte superior. El litargirio a una temperatura superior a 720°C reacciona con el óxido de sílice formando silicato  $\text{PbO} \cdot \text{SiO}_2$ , el cual conforma la escoria, la misma que se vuelve muy fluida conforme aumenta la temperatura hasta los 1000 o 1100°C, condición necesaria para una buena separación de los metales. El litargirio cuando reacciona con el sulfuro (que puede ser pirita) formando óxido de hierro (III), trióxido de azufre y plomo metálico, este último necesario para captar oro y plata que están en la muestra. Otro reactivo de mucha importancia en la fusión de minerales ácidos es el carbonato de sodio el cual es un fundente básico que reacciona con los sulfuros como oxidante y como desulfurante formando sulfuro de sodio y sulfato de sodio, a temperaturas superiores a 950°C forma silicato de sodio con el dióxido de sílice, en esta reacción se desprende dióxido de carbono. El mismo comportamiento tiene el carbonato de potasio.

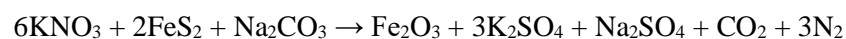
2. Minerales básicos: Estos minerales están libres de sulfuros, generalmente conformados por minerales oxidados, contienen óxidos de hierro, dióxido de manganeso y que tiene la propiedad de oxidar el plomo y a los agentes reductores como el carbono, el plomo, el hierro y la harina. Como fundente principal para minerales básicos se emplea nitrato de potasio o de sodio y sulfato de sodio y sulfato de potasio, bórax, dióxido de sílice, entre otros. El nitrato de potasio es un agente oxidante muy energético cuyo punto de fusión es 339°C, a altas temperaturas se descompone generando oxígeno, el cual oxida los sulfuros y también a los metales básicos entre ellos al cobre y plomo. Este reactivo también reacciona con carbón de la siguiente manera:



Cuando reacciona con los sulfuros, se obtienen los siguientes productos:



La reacción del nitrato de potasio con la pirita se sucede a acuerdo con la siguiente reacción:



La reacción del nitrato de potasio con el plomo metálico es como sigue:



3. Minerales neutros: Son minerales que contienen sílice, óxidos y carbonatos. Con estos minerales se emplean los mismos fundentes que se usan para minerales básicos.

Las pruebas experimentales realizadas se llevaron a cabo con minerales ferrosos y cupríferos tanto oxidados como sulfurosos, así como minerales cuarcíferos empleando mezclas fundentes diversas que a continuación de manera concreta se dan a conocer la concentración de los reactivos que participan en cada una de ellas:

- a) Mezclas fundentes para minerales cuarcíferos:

Se consideran minerales cuarcíferos a aquellos en cuya composición hay óxido de sílice y silicatos. La cantidad de mineral considerado como muestra representativa fue de 29 gramos.

**Flux 1: Minerales cuarcíferos**

Litargirio	80 g	49.38 %
Carbonato de potasio	50 g	30.87 %
Harina	2 g	1.23 %

Cubierta:

Bórax	15 g	9.26 %
Cloruro de sodio	15 g	9.26 %

**Flux 2: Minerales cuarcíferos**

Litargirio	90 g	47.37 %
Carbonato de potasio	60 g	31.58 %
Harina	2 g	1.05 %
Hierro (clavo)	3 g	1.58 %

Cubierta:

Bórax	20 g	10.53 %
Cloruro de sodio	15 g	7.89 %

**Flux 3: Minerales cuarcíferos**

Litargirio	100 g	46.30 %
Carbonato de potasio	70 g	32.41 %
Harina	3 g	1.39 %
Hierro (clavo)	2 g	0.92 %
Nitrato de plata	1 g	0.46 %

Cubierta:

Bórax	20 g	9.26 %
Cloruro de sodio	20 g	9.26 %

b) Mezclas fundentes para minerales ferrosos:

Se consideran minerales ferrosos o ferruginosos a aquellos en los que hay un mayor porcentaje de óxidos (hematita, magnetita, limonita) o sulfuros de hierro (piritas). Los minerales que contienen sulfuros previamente fueron sometidos a tostación a temperaturas entre los 450 y 500°C para eliminar el azufre como óxido de azufre y obtener óxido de hierro, de esta manera en la muestra se libera el oro que está encapsulado en los sulfuros y su análisis es más fácil. Las mezclas fundentes empleadas en este caso fueron:

**Flux 1: Minerales ferrosos**

Litargirio	80 g	42.78 %
Sílice	30 g	16.04 %
Carbonato de potasio	20 g	10.70 %
Harina	2 g	1.07 %
Bórax	20 g	10.70 %
Clavo	3 g	1.60 %
Nitrato de potasio	2 g	1.07 %

Cubierta:

Bórax	15 g	8.02 %
Cloruro de sodio	15 g	8.02 %

**Flux 2: Minerales ferrosos**

Litargirio	90 g	41.67 %
Sílice	40 g	18.52 %
Carbonato de potasio	25 g	11.57 %
Harina	2 g	0.93 %
Bórax	20 g	9.26 %
Clavo	3 g	1.39 %
Nitrato de potasio	1 g	0.46 %

Cubierta:

Bórax	20 g	9.26 %
Cloruro de sodio	15 g	6.94 %

**Flux 3: Minerales ferrosos**

Litargirio	100 g	40.65 %
Sílice	50 g	20.33 %
Carbonato de potasio	30 g	12.20 %
Harina	2 g	0.81 %

Bórax	25 g	10.16 %
Clavo	2 g	0.81 %
Nitrato de potasio	2 g	0.81 %

Cubierta:

Bórax	20 g	8.13 %
Cloruro de sodio	15 g	6.10 %

**Flux 4: Minerale ferrosos**

Litargirio	120 g	43.48 %
Sílice	50 g	18.12 %
Carbonato de potasio	40 g	14.49 %
Harina	2 g	0.72 %
Bórax	20 g	7.25 %
Clavo	2 g	0.72 %
Nitrato de potasio	2 g	0.72 %

Cubierta:

Bórax	20 g	7.25 %
Cloruro de sodio	20 g	7.25 %

c) Mezclas fundentes para minerales cupríferos:

Se llaman así a los minerales aquellos en los que predominan los minerales oxidados (azurita, cuprita, malaquita) o minerales sulfuros de cobre (calcopirita, covelina, bornita, etc.), las mezclas fundentes que se emplearon en este caso fueron los siguientes:

**Flux 1: Minerale cupríferos**

Litargirio	80 g	43.24 %
Carbonato de potasio	20 g	10.81 %
Sílice	30 g	16.22 %
Bórax	20 g	10.81 %
Harina	2 g	1.08 %
Clavo	2 g	1.08 %
Nitrato de plata	1 g	0.54 %

Cubierta:

Bórax	15 g	8.11 %
Cloruro de sodio	15 g	8.11 %

**Flux 2: Minerale cupríferos**

Litargirio	90 g	39.13 %
------------	------	---------

Carbonato de potasio	30 g	13.04 %
Sílice	40 g	17.39 %
Bórax	25 g	10.87 %
Harina	2 g	0.87 %
Clavo	2 g	0.87 %
Nitrato de plata	1 g	0.43 %

Cubierta:

Bórax	25 g	10.87 %
Cloruro de sodio	15 g	6.52 %

**Flux 3: Minerales cupríferos**

Litargirio	100 g	37.59 %
Carbonato de potasio	40 g	15.04 %
Sílice	50 g	18.80 %
Bórax	25 g	9.40 %
Harina	2 g	0.75 %
Clavo	2 g	0.75 %
Nitrato de plata	2 g	0.75 %

Cubierta:

Bórax	25 g	9.40 %
Cloruro de sodio	20 g	7.52 %

**Flux 4: Minerales cupríferos**

Litargirio	120 g	40.54 %
Carbonato de potasio	50 g	16.89 %
Sílice	50 g	16.89 %
Bórax	30 g	10.14 %
Harina	2 g	0.68 %
Clavo	2 g	0.68 %
Nitrato de plata	2 g	0.68 %

Cubierta:

Bórax	20 g	6.75 %
Cloruro de sodio	20 g	6.75 %

d) Mezcla fundente para minerales oxidados de cobre y hierro:

En este tipo de muestras se incluyen los minerales oxidados de hierro y cobre como la hematita, limonita, magnetita, limonita, azurita, cuprita, etc. Para este tipo de minerales se empleó las siguientes mezclas fundentes:

**Flux 1: Minerales sulfurosos de hierro y cobre.**

Litargirio	100 g	56.82 %
Nitrato de potasio	10 g	5.68 %
Carbonato de sodio	30 g	17.05 %
Harina	4 g	2.27 %
Hierro	2 g	1.14 %
Cubierta:		
Bórax	15 g	8.52 %
Cloruro de sodio	15 g	8.52 %

**Flux 2: Minerales sulfurosos de hierro y cobre.**

Litargirio	110 g	55.84 %
Nitrato de potasio	10 g	5.08 %
Carbonato de sodio	40 g	20.30 %
Harina	4 g	2.03 %
Hierro	2 g	1.02 %
Nitrato de plata	1 g	0.51 %
Cubierta:		
Bórax	15 g	7.61 %
Cloruro de sodio	15 g	7.61 %

**Flux 3: Minerales sulfurosos de hierro y cobre.**

Litargirio	120 g	55.30 %
Nitrato de potasio	10 g	4.61 %
Carbonato de sodio	50 g	23.04 %
Harina	4 g	1.84 %
Hierro	2 g	0.92 %
Nitrato de plata	1 g	0.46 %
Cubierta:		
Bórax	15 g	6.91 %
Cloruro de sodio	15 g	6.91 %

**Procedimiento experimental:****MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS.**a. **MATERIALES.**

Minerales auríferos.

Crisoles de arcilla para fusión.

Escorificadores.



Copelas.

Agua destilada.



Fig. 2. Crisol de arcilla para análisis de oro [4]

b. EQUIPOS.

Mufla eléctrica.

Cocinilla con termostato regulable.

Balanza microquímica.

Balanza tecnoquímica.

Campana extractora.



Fig. 3. Copelación [4]

c. REACTIVOS.

Litargirio.

Carbonato de sodio.

Sulfato de sodio.

Bórax.

Nitrato de potasio.

Cloruro de sodio.

Carbón.

Ácido nítrico Q.P.

Ácido clorhídrico Q.P.

Ácido sulfúrico Q.P.

Hidróxido de amonio.

d. ANÁLISIS DE ORO

(Método de la mufla eléctrica)

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 25 gramos de muestra tamizada a malla -200 ponerla en un crisol de arcilla y mezclarla con la mezcla fundente preparada.
2. Colocar el crisol en la mufla eléctrica a 900°C, ir subiendo la temperatura hasta 1100°C, proceso que dura de 50 - 60 minutos (se conoce que ya ha fundido el mineral cuando el crisol se ve transparente).
3. Sacar de la mufla y vaciar su contenido a la lingotera y dejarlo enfriar (previamente se calienta la lingotera para que no salte la escoria al vaciar).



Fig.4. Mufla eléctrica [4]

4. Se separa la escoria del metal, con un martillo, y al régulo metálico se le da forma cúbica.
5. Se escorifica y se vacía etc. como en el caso anterior (cuando hay Bi o As es recomendable escorificar dos veces).
6. Se coloca el cubo de metal en una copela que de antemano ha sido calentada durante 15 a 20 minutos a 1000°C.



Fig. 5. Cubicación del régulo [5]

7. Se copela a 950°C.
8. Sacar la copela de la mufla y enfriar totalmente (cuando es solo para plata, pesar el botón después de frío, reportar en oz/Ton cuando no tiene nitrato de plata).
9. El botón de plata que también contiene el oro, limpiarlo con una brocha especial y colocarlo en un crisol de porcelana, agregar ácido nítrico (1:7) si el botón es grande, o (1:5) si es pequeño y calentar lentamente hasta que no haya mayor ataque a la plata. Bajarlo.
10. Descartar con bastante cuidado la solución, agregar ácido nítrico (1:1) y seguir atacando a calor lento, hasta que toda la plata haya reaccionado, si es necesario se puede decantar y echar ácido 1:1 y seguir el mismo proceso. Tener cuidado de no atacar a calor fuerte porque el oro se sedimenta en pequeñas partículas que al lavar o decantar se pierden y los resultados salen errados.
11. Decantar la solución cuidadosamente. Lavar el oro 3 veces por decantación con agua amoniacal caliente (1:7).
12. Agregar más o menos 5 cc de amoniaco y calentar suavemente. Bajarlo, decantar y lavar dos veces con agua caliente por decantación.
13. Secar el crisol en la plancha y después llevarlo al horno por 20".
14. Enfriar, pesar el botón de oro y expresar el resultado en gramos por toneladas o por la forma que soliciten.

#### CÁLCULO.

$Au = \text{Peso del oro obtenido en g} \times 40\,000 = \text{g/t}$

También se puede calcular:

$Au = (\text{Peso del oro obtenido en g} \times 1000\,000) / \text{Peso de la muestra en g} = \text{g/t}$

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Resultado del análisis de las muestras minerales.

Tabla 3.1

Resultados del análisis del mineral cuarífero con contenido de oro

Componente	Unidad	Resultado obtenido
Sílice, Si	%	7,41
Hierro, Fe	%	2,38
Cobre, Cu	%	2,11
Plomo, Pb	%	1,43
Zinc, Zn	%	0,52
Azufre, S	%	3,09
Oro, Au	g/t	37,11
Plata, Ag	g/t	51,20

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.1 muestra los resultados del análisis de un mineral aurífero que contiene una alta concentración de sílice (cuarzo) la cual es de 7,41%, otros componentes de importancia son el hierro (2,38%) y cobre (2,11%). La concentración de oro en este mineral es de 37,11 g/t, en tanto que la concentración de plata es de 51,20 g/t.

Tabla 3.2

Resultados del análisis del mineral ferruginoso con contenido de oro

Componente	Unidad	Resultado obtenido
Hierro, Fe	%	6,38
Cobre, Cu	%	2,23
Sílice, Si	%	2,05
Plomo, Pb	%	1,43
Zinc, Zn	%	0,88
Azufre, S	%	12,48
Oro, Au	g/t	46,29
Plata, Ag	g/t	61,80

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.2 muestra los resultados del análisis de un mineral aurífero que contiene una alta concentración de hierro la cual es de 6,38%, otros componentes de importancia son el cobre (2,23%) y sílice (2,05%). La concentración de oro en este mineral es de 46,29 g/t, en tanto que la concentración de plata es de 61,80 g/t.

Tabla 3.3

Resultados del análisis del mineral cupríferos con contenido de oro

Componente	Unidad	Resultado obtenido
Cobre, Cu	%	9,57
Hierro, Fe	%	3,62
Sílice, Si	%	1,44
Plomo, Pb	%	1,05
Zinc, Zn	%	0,67
Azufre, S	%	10,12
Oro, Au	g/t	41,35
Plata, Ag	g/t	72,14

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.3 muestra los resultados del análisis de un mineral aurífero que contiene una alta concentración de cobre la cual es de 9,57%, otros componentes de importancia son el hierro (3,62%) y sílice (1,44%). La concentración de oro en este mineral es de 41,35 g/t, en tanto que la concentración de plata es de 72,14 g/t.

Tabla 3.4

Resultados del análisis del mineral oxidado de cobre y hierro con contenido de oro

Componente	Unidad	Resultado obtenido
Cobre, Cu	%	5,68
Hierro, Fe	%	6,12
Sílice, Si	%	3,76
Plomo, Pb	%	0,85
Zinc, Zn	%	0,39
Azufre, S	%	8,53
Oro, Au	g/t	54,06
Plata, Ag	g/t	85,58

Fuente: Datos experimentales.

La tabla 3.4 muestra los resultados del análisis de un mineral aurífero que contiene una alta concentración de oxidado de cobre y hierro las cuales fueron: cobre 5,68% y hierro 6,12%, otros componentes de importancia son la sílice (3,76%) y el azufre 8,53%. La concentración de oro en este mineral es de 54,06 g/t, en tanto que la concentración de plata es de 85,58 g/t.



### 3.2. Resultados del análisis de oro en minerales cuarcíferos.

Tabla 3.5

Resultados del empleo del flux 1: minerales cuarcíferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,000903
02	0,000905
03	0,000902
04	0,000905
05	0,000901
Promedio	0,000903

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 37,11 g/t

Au reportado: 36,12 g/t

Diferencia:  $37,11 - 36,12 = 0,99$  g/t

La tabla 3.5 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuarcífero y la mezcla fundente Flux 1, en cuya composición se consideró 80 g de litargirio y 50 g de carbonato de potasio; el resultado promedio obtenido dio 0,000903 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 36,12 g/t de oro.

Tabla 3.6

Resultados del empleo del flux 2: minerales cuarcíferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,000915
02	0,000914
03	0,000916
04	0,000914
05	0,000915
Promedio	0,000915

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 37,11 g/t

Au reportado: 36,60 g/t

Diferencia:  $37,11 - 36,60 = 0,51$  g/t

La tabla 3.6 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuarcífero y la mezcla fundente Flux 2, en cuya composición se consideró 90 g de litargirio y 60 g de carbonato de potasio; el resultado promedio obtenido dio 0,000915 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 36,60 g/t de oro.

Tabla 3.7

Resultados del empleo del flux 3: minerales cuarcíferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,000927
02	0,000927
03	0,000928
04	0,000929
05	0,000928
Promedio	0,000928

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 37,11 g/t

Au reportado: 37,11 g/t

Diferencia:  $37,11 - 37,11 = 0,00$  g/t

La tabla 3.7 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuarcífero y la mezcla fundente Flux 3, en cuya composición se consideró 100 g de litargirio y 70 g de carbonato de potasio; el resultado promedio obtenido dio 0,000928 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 37,11 g/t de oro.

### 3.3. Resultados de los análisis del oro con el flux 1: minerales ferrosos.

Tabla 3.8

Resultados del empleo del flux 1: minerales ferrosos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001124
02	0,001123
03	0,001125
04	0,001123
05	0,001125
Promedio	0,001124

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 46,29 g/t

Au reportado: 44,96 g/t

Diferencia:  $46,29 - 44,96 = 1,33$  g/t

La tabla 3.8 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral ferroso y la mezcla fundente Flux 1, en cuya composición se consideró 80 g de litargirio y 20 g de carbonato de potasio y sílice 30 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001124 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 44,96 g/t de oro.

Tabla 3.9

Resultados del empleo del flux 2: minerales ferrosos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001136
02	0,001136
03	0,001138
04	0,001137
05	0,001137
Promedio	0,001137

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 46,29 g/t

Au reportado: 45,48 g/t

Diferencia:  $46,29 - 45,48 = 0,81$  g/t

La tabla 3.9 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral ferroso y la mezcla fundente Flux 2, en cuya composición se consideró 90 g de litargirio y 25 g de carbonato de potasio y sílice 40 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001137 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 45,48 g/t de oro.

Tabla 3.10

Resultados del empleo del flux 3: minerales ferrosos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001147
02	0,001145
03	0,001146
04	0,001146
05	0,001146
Promedio	0,001146

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 46,29 g/t

Au reportado: 45,84 g/t

Diferencia:  $46,29 - 45,84 = 0,45$  g/t

La tabla 3.10 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral ferroso y la mezcla fundente Flux 3, en cuya composición se consideró 100 g de litargirio y 30 g de carbonato de potasio y sílice 50 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001146 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 45,84 g/t de oro.

Tabla 3.11

Resultados del empleo del flux 4: minerales ferrosos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001158
02	0,001157
03	0,001156
04	0,001158
05	0,001157
Promedio	0,001157

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 46,29 g/t

Au reportado: 46,28 g/t

Diferencia:  $46,29 - 46,28 = 0,01$  g/t

La tabla 3.11 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral ferroso y la mezcla fundente Flux 4, en cuya composición se consideró 120 g de litargirio, 40 g de carbonato de potasio y sílice 50 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001157 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 46,28 g/t de oro.

### 3.4. Resultado del análisis del oro en muestras cupríferas

Tabla 3.12

Resultados del empleo del flux 1: minerales cupríferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001003
02	0,001003
03	0,001004
04	0,001004
05	0,001002
Promedio	0,001003

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 41,39 g/t

Au reportado: 40,12 g/t

Diferencia:  $41,39 - 40,12 = 1,27$  g/t

La tabla 3.12 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuprífero y la mezcla fundente Flux 1, en cuya composición se consideró 80 g de litargirio y 20 g de carbonato de potasio y sílice 30 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001003 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 40,12 g/t de oro.



Tabla 3.13

Resultados del empleo del flux 2: minerales cupríferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001015
02	0,001014
03	0,001014
04	0,001015
05	0,001016
Promedio	0,001015

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 41,39 g/t

Au reportado: 40,60 g/t

Diferencia:  $41,39 - 40,60 = 0,79$  g/t

La tabla 3.13 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuprífero y la mezcla fundente Flux 2, en cuya composición se consideró 90 g de litargirio y 30 g de carbonato de potasio y sílice 40 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001015 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 40,60 g/t de oro.

Tabla 3.14

Resultados del empleo del flux 3: minerales cupríferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001026
02	0,001027
03	0,001027
04	0,001025
05	0,001026
Promedio	0,001026

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 41,39 g/t

Au reportado: 41,04 g/t

Diferencia:  $41,39 - 41,04 = 0,35$  g/t

La tabla 3.14 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuprífero y la mezcla fundente Flux 3, en cuya composición se consideró 100 g de litargirio y 40 g de carbonato de potasio y sílice 50 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001026 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 41,04 g/t de oro.

Tabla 3.15

Resultados del empleo del flux 4: minerales cupríferos

N° de ensayo	Au, g
01	0,001034
02	0,001035
03	0,001034
04	0,001035
05	0,001034
Promedio	0,001034

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 41,39 g/t

Au reportado: 41,36 g/t

Diferencia:  $41,39 - 41,36 = 0,03$  g/t

La tabla 3.15 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral cuprífero y la mezcla fundente Flux 4, en cuya composición se consideró 120 g de litargirio y 50 g de carbonato de potasio y sílice 50 g; el resultado promedio obtenido dio 0,001034 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 41,36 g/t de oro.

### 3.5. Análisis del oro en muestras que contienen óxidos de hierro y de cobre.

Tabla 3.16

Resultados del empleo del flux 1: minerales oxidados de Fe y Cu

N° de ensayo	Au, g
01	0,001322
02	0,001324
03	0,001325
04	0,001322
05	0,001323
Promedio	0,001323

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 54,06 g/t

Au reportado: 52,92 g/t

Diferencia:  $54,06 - 52,92 = 1,14$  g/t

La tabla 3.16 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral oxidado de hierro y cobre y la mezcla fundente Flux 1, en cuya composición se consideró 100 g de litargirio y 30 g de carbonato de sodio y 10 g de nitrato de potasio; el resultado promedio obtenido dio 0,001323 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 52,92 g/t de oro.

Tabla 3.17

Resultados del empleo del flux 2: minerales oxidados de Fe y Cu

N° de ensayo	Au, g
01	0,001339
02	0,001339
03	0,001338
04	0,001337
05	0,001338
Promedio	0,001338

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 54,06 g/t

Au reportado: 53,52 g/t

Diferencia:  $54,06 - 53,52 = 0,54$  g/t

La tabla 3.17 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral oxidado de hierro y cobre y la mezcla fundente Flux 2, en cuya composición se consideró 110 g de litargirio y 40 g de carbonato de sodio y 10 g de nitrato de potasio; el resultado promedio obtenido dio 0,001338 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 53,52 g/t de oro.

Tabla 3.18

Resultados del empleo del flux 3: minerales oxidados de Fe y Cu

N° de ensayo	Au, g
01	0,001353
02	0,001351
03	0,001352
04	0,001350
05	0,001350
Promedio	0,001351

Fuente: Reporte de laboratorio.

Au inicial: 54,06 g/t

Au reportado: 54,04 g/t

Diferencia:  $54,06 - 54,04 = 0,02$  g/t

La tabla 3.18 muestra los resultados del análisis de oro por el método de ensayo al fuego empleando una muestra de mineral oxidado de hierro y cobre y la mezcla fundente Flux 3, en cuya composición se consideró 120 g de litargirio y 50 g de carbonato de sodio y 10 g de nitrato de potasio; el resultado promedio obtenido dio 0,001351 g lo que indica que según esta formulación del flux la muestra tiene 54,04 g/t de oro.

**3.6. Influencia de la concentración de los reactivos en la exactitud del resultado del análisis de oro.**

Tabla 3.19

Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro  
en muestras cuarcíferas

Número de Flux	Ley del oro g/t	Oro reportado, g	Oro Calculado, g/t	Diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, g/t
1	37,11	0,000903	36,12	0,99
2	37,11	0,000915	36,60	0,51
3	37,11	0,000928	37,11	0,00

Fuente: Tablas 3.5-3.7

La tabla 3.19 muestra los datos comparativos del análisis del oro en muestras cuarcíferas, según los datos que observamos los flux empleados en cada caso tienen una mayor concentración de reactivos y los resultados se acercan cada vez más a la ley del mineral, lo que se expresa en la menor diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, con el flux 3 la diferencia no existe en este caso.

Tabla 3.20

Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro  
en muestras ferrosas

Número de Flux	Ley del oro g/t	Oro reportado, g	Oro Calculado, g/t	Diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, g/t
1	46,29	0,001124	44,96	1,33
2	46,29	0,001137	45,48	0,81
3	46,29	0,001146	45,84	0,45
4	46,29	0,001157	46,28	0,01

Fuente: Tablas 3.8-3.11

La tabla 3.20 muestra los datos comparativos del análisis del oro en muestras ferrosas, según los datos que observamos los flux empleados en cada caso tienen una mayor concentración de reactivos y los resultados se acercan cada vez más a la ley del mineral, lo que se expresa en la menor diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, con el flux 4 la diferencia entre ambos es de 0,01 g/t



Tabla 3.21

Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro  
en muestras cupríferas

Número de Flux	Ley del oro g/t	Oro reportado, g	Oro Calculado, g/t	Diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, g/t
1	41,39	0,001003	40,12	1,27
2	41,39	0,001015	40,60	0,79
3	41,39	0,001026	41,04	0,35
4	41,39	0,001034	41,36	0,03

Fuente: Tablas 3.12-3.15

La tabla 3.21 muestra los datos comparativos del análisis del oro en muestras cupríferas, según los datos que observamos los flux empleados en cada caso tienen una mayor concentración de reactivos y los resultados se acercan cada vez más a la ley del mineral, lo que se expresa en la menor diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, con el flux 4 la diferencia entre ambos es de 0,03 g/t

Tabla 3.22

Influencia de la concentración de reactivos en la exactitud del análisis del oro en muestras oxidadas de hierro y cobre

Número de Flux	Ley del oro g/t	Oro reportado, g	Oro Calculado, g/t	Diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, g/t
1	54,06	0,001323	52,92	1,14
2	54,06	0,001338	53,52	0,54
3	54,06	0,001351	54,04	0,02

Fuente: Tablas 3.16-3.18

La tabla 3.22 muestra los datos comparativos del análisis del oro en muestras sulfurosas de hierro y cobre, según los datos que observamos los flux empleados en cada caso tienen una mayor concentración de reactivos y los resultados se acercan cada vez más a la ley del mineral, lo que se expresa en la menor diferencia entre la ley del oro y el oro calculado, con el flux 3 la diferencia entre ambos es de 0,02 g/t

#### IV. DISCUSIÓN

Aunque en los últimos tiempos el avance tecnológico en el campo del análisis ha creado muchos equipos de alta calidad y mucha exactitud, que además son mucho más rápidos y pueden dar resultados no solo de la concentración de un elemento, sino de varios y de los parámetros a los que se trabaja o se encuentra inmerso el analito, hay métodos clásicos que aún se siguen empleando en diversos laboratorios y en diversas partes del mundo por su versatilidad y exactitud cuando se realiza bajo condiciones estándares, vale decir, con el cuidado y el conocimiento requerido. En la bibliografía revisada, donde se estudian reportes de laboratorios dedicados al análisis del oro por vía seca, se habla de la preparación del flux en cantidades grandes, en función solamente al tipo de mineral a analizar, en estas formulaciones de la mezcla fundente se consideran ciertas cantidades de reactivos que son fijas y que se usan para cualquier muestra ferruginosa por ejemplo; sin embargo, un estudio minucioso nos indican que ninguna muestra de mineral es idéntica a otra desde el punto de vista químico y mineralógico, y por lo tanto requiere de una variación en la concentración de reactivos para lograr un buen resultado.

En la presente tesis para una misma muestra se han ensayado diversas formulaciones, variando la cantidad de reactivos y agregando otros con el fin de liberar el máximo de oro y separarlo de la escoria, de tal forma que en cada ensayo se fue comprobando la influencia de la dosificación y de los reactivos usados. Se trabajó de acuerdo con la clasificación clásica que se suele hacer a los minerales auríferos oxidados y refractarios, es decir, minerales cuarcíferos, ferruginosos, cupríferos y minerales mixtos con sulfuros de hierro y cobre. Los minerales ferruginosos y cupríferos que contenían sulfuros, para hacer más fácil su análisis se sometieron a tostación, con el fin de transformar los sulfuros en óxidos. La temperatura de dicho tratamiento fue entre 500 y 700°C, en la mufla durante una hora con lo que se descomponen los sulfuros en presencia del oxígeno generando un óxido metálico y un óxido ácido, este último tiende a evaporarse o sublimarse. Los óxidos metálicos obtenidos por tostación que quedan en la muestra son enfriados y luego mezclados con la mezcla fundente, de acuerdo con las formulaciones dadas y son llevados a fusión. Las muestras de minerales que contienen óxidos de hierro y cobre, y que además contienen una cierta cantidad de minerales sulfurados de estos metales, se analizaron sin someterlos a tostación, empleando para ello una mezcla fundente que incluía reactivos básicos y ácidos, lográndose un excelente resultado en los reportes analíticos.

Con cada uno de los flux elaborados se llevaron a cabo 5 ensayos bajo las mismas condiciones, siguiendo los pasos adecuados, de tal forma que los resultados son comparativos. Uno de los reactivos que conforma todos los flux formulados es el litargirio u óxido de plomo reactivo indispensable para coleccionar los metales preciosos y de las principales reacciones la formación de

la escoria fluida; este reactivo actúa como un agente básico y un desulfurante energético. Otro reactivo importante es el carbonato de potasio que actúa también como un agente básico y desulfurante, reacciones importantísimas para la fusión del plomo y de los metales que lo acompañan en el régulo. Encontrar en un solo intento la cantidad precisa de estos reactivos no es posible por lo que se tiene que hacer varios ensayos a fin de establecer criterios para luego tratar muestras muy semejantes. En eso se basa este método, su correcta aplicación depende del análisis previo del mineral a analizar y del conocimiento de cada reactivo que ingresa al flux en la cantidad necesaria. La cantidad de los reactivos empleados no son estequiométricas ya que cada uno de ellos no reacciona solo con un componente del mineral, sino muchas veces con varios de ellos y por otro lado hay que tener en cuenta que las reacciones se llevan a cabo a altas temperaturas y en cada nivel se producen diversas reacciones con un mismo reactivo.

## V. CONCLUSIONES

1. Experimentalmente se ha podido demostrar que la concentración de los reactivos que constituyen el flux influye directamente en la determinación de la ley de oro por gravimetría.
2. Los componentes básicos que conforman la mezcla fundente empleada en el análisis del oro por gravimetría, son el litargirio u óxido de plomo, el carbonato de potasio o de sodio, la sílice y el bórax, entre otros.
3. El estudio experimental ha demostrado que para establecer la concentración de los reactivos que ingresan a la mezcla fundente, es necesario establecer primeramente el tipo de mineral, los componentes mayoritarios, las características de estos y como intervienen durante la fusión a altas temperaturas.
4. Los criterios que se toman en cuenta para incluir reactivos en la mezcla fundente son la composición química y mineralógica del mineral, es decir, si es cuarcífera, ferruginosas cupríferas o mixtas.
5. Las pruebas experimentales han permitido establecer que la concentración de los reactivos son diversas, en dependencia con la composición química de la muestra a analizar, la cantidad de óxidos por ejemplo, se requiere de una mayor concentración de litargirio y de alguna sustancia oxidante como el nitrato de plata, la cual cataliza las reacciones, permitiendo que los óxidos se fundan a menor temperatura, lo que acelera las reacciones que finalmente permiten la separación de la parte metálica de la ganga.
6. Los ensayos realizados con las muestras tomadas han permitido determinar experimentalmente que no se puede determinar de manera general los componentes de una mezcla fundente, ni la concentración de cada uno de los reactivos que conforman dicha mezcla fundente, por la sencilla razón que las muestras de minerales son diversas y por tanto el análisis es personalizado, lo que sí es perfectamente posible y muy necesario, establecer los criterios que se deben de tener en cuenta para incluir reactivos en el flux, tal es el caso cuando se trabajan con muestras oxidadas, con carácter básico se deben agregar reactivos ácidos como el sulfato de sodio; y si la muestra es ácida se deben incluir reactivos que son de carácter básico como el Carbonato de sodio. Las concentraciones por otro lado deben de ser consideradas en exceso, ya que las reacciones con minerales casi nunca son estequiométricas, pues hay varios compuestos que reaccionan con el reactivo, por lo que debe agregarse una cantidad adicional para asegurar la recuperación de los metales.

## **VI. RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda hacer ensayos instrumentales para verificar los datos obtenidos en las pruebas realizadas en la presente tesis. Estos análisis podrían ser mediante espectrofotometría de absorción atómica. De esta manera también se podría comprobar el grado de exactitud de cada uno de estos métodos.
2. Se recomienda elaborar la mezcla fundente en cantidades necesarias para cada tipo de mineral, y no preparar una gran cantidad para usarla en cualquier mineral, ya que se ha demostrado que cada una de las muestras tiene sus propias características y composición y que requiere de una dosificación de reactivos adecuada.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] G. Toapanta, “Análisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando cobre como colector”, Tesis, Ecuador, Universidad San Francisco de Quito, 2019.
- [2] A. Salazar. “Evaluación del método de determinación de oro por ensayo al fuego”, Tesis, México, Universidad Autónoma de Coahuila, 2020.
- [3] C. Patiño, “Mejoramiento del control químico analítico en la extracción metalúrgica del oro y de la plata en los laboratorios del grupo de investigación en minerales biohidrometalurgia y ambiente”. Artículo, Colombia, Universidad Nacional de Bogotá, 2019.
- [4] G. Toapanta, “Análisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando Cobre como colector”, Tesis, Ecuador, Universidad San Francisco de Quito, Ecuador, 2015.
- [5] L. Coudurier y Wilkomireky, “Fundamentos de los procesos metalúrgicos”, Tesis, Chile, Departamento de Metalurgia Extractiva, Universidad de Concepción, 1971.
- [6] G. Muñoz, “Recuperación de oro por fusión a partir de concentrados polisulfurados de menas ecuatorianas”, Tesis, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2018.
- [7] Antezana W. “Análisis de oro y plata en horno mufla utilizando cobre como colector en la corporación minera ANANEA”, Tesis, Perú, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2018.
- [8] J. Condori, A. Pacco “Implementación de un sistema de aseguramiento de la calidad en ensayos por vía seca, para mejorar la confiabilidad de resultados de laboratorio químico de minerales”, Tesis, Perú, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 2019.
- [9] J. Gamboa, “Informe de prácticas profesionales, Determinación cuantitativa de oro y plata por ensayo al fuego en la Unidad Santa María –Compañía Minera Poderosa, Ayacucho, 2014”, Tesis, Perú, Universidad Nacional del Centro, 2015.
- [10] E, Ruiz, “Informe de prácticas pre profesionales, laboratorio Fritmin E.I.R.L Nazca”, Informe de Práctica Profesional, Universidad Nacional de Ayacucho, 2018.

## VIII. ANEXOS.



Fig. 6. Muestra fundida es vaciada en la lingotera.[5]



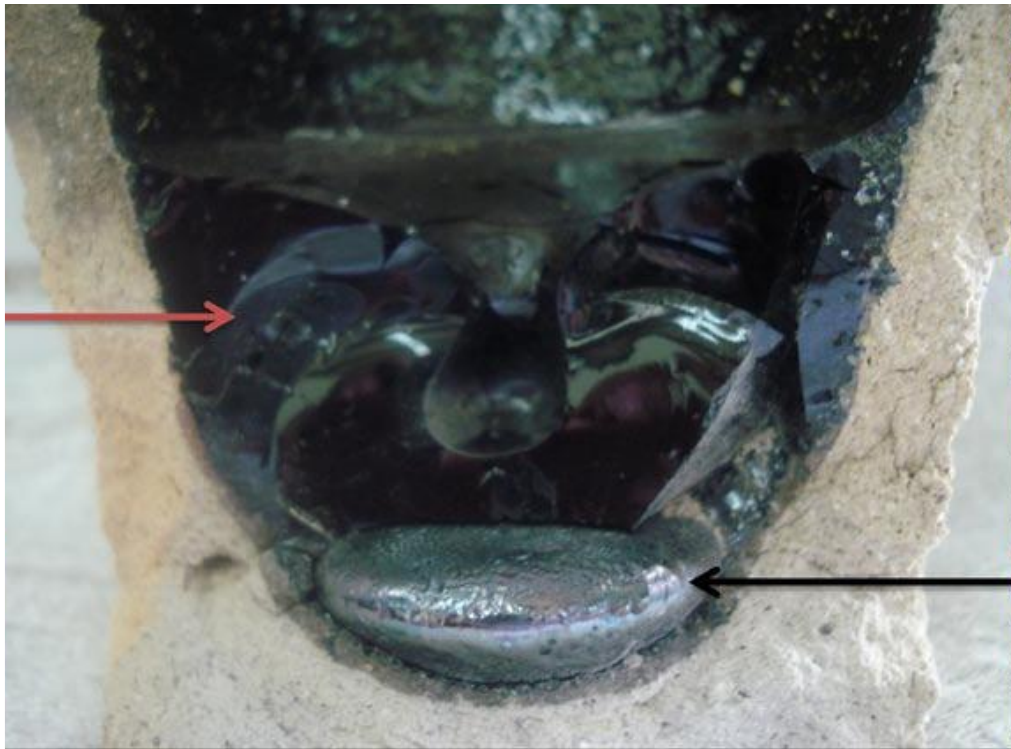


Fig. 7. Corte transversal de un crisol donde se muestra la escoria con la flecha roja y la fase metálica con la flecha negra.[6]